



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 101 20 446 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 03 F 7/20

21 Aktenzeichen: 101 20 446.9
22 Anmeldetag: 26. 4. 2001
43 Offenlegungstag: 28. 11. 2002

DE 101 20 446 A 1

71 Anmelder:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE
74 Vertreter:
U. Ostertag und Kollegen, 70597 Stuttgart

72 Erfinder:
Bünau, Rudolf von, 73457 Essingen, DE;
Hemd-Söllner, Christian, 70180 Stuttgart, DE;
Holderer, Hubert, 89551 Königsbrunn, DE
56 Entgegenhaltungen:
DE 198 24 030 A1
WO 2 000 55 890 A1
JP 2000-114145A, in: Patent Abstracts of Japan;

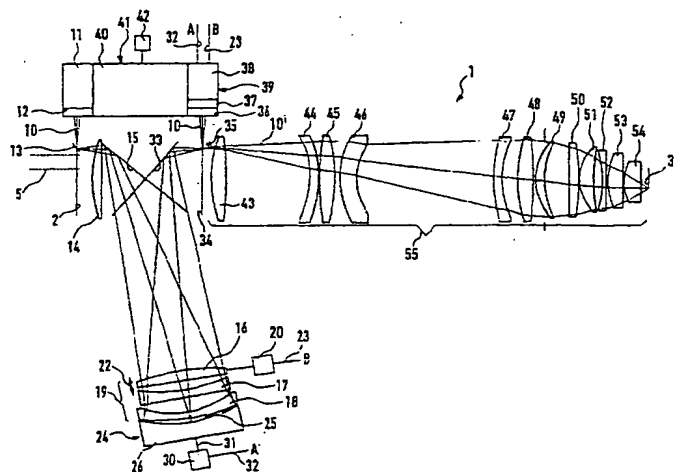
BEST AVAILABLE COPY

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Projektionsbelichtungsanlage sowie Verfahren zur Kompensation von in der Projektionsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, auftretenden Abbildungsfehlern

57 Eine Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, dient zur Erzeugung eines Bilds eines in einer Objektebene (2) angeordneten Objekts in einer Bildebene (3). Sie weist eine Lichtquelle auf, die ein Projektionslichtbündel (5) emittiert. Ferner umfaßt sie eine im Strahlengang zwischen der Objektebene (2) und der Bildebene (3) angeordnete Projektionsoptik (1) sowie mindestens eine im Projektionslicht-Strahlengang vor der Bildebene (3) angeordnete optische Korrekturkomponente (24). Diese ist zur Änderung der optischen Abbildungseigenschaften derart mit mindestens einem Korrekturmanipulator gekoppelt, daß eine mit dem Projektionslichtbündel (5) bestrahlte optische Fläche (25) der optischen Korrekturkomponente (24) zumindest bereichsweise bewegt wird. Hierbei arbeitet der Korrekturmanipulator mit einer Korrektursensorik (41) zusammen. Die Korrektursensorik (41) umfaßt eine Lichtquelle (11), die mindestens ein Meßlichtbündel (10) emittiert. Dieses durchläuft zumindest einen Teil der Projektionsoptik und liegt vor dem Eintritt in die und nach dem Austritt aus der Projektionsoptik (1) außerhalb des Projektionslichtbündels (5). Außerdem weist die Korrektursensorik (41) ein positionsempfindliches Korrektursensorelement (37) zur Detektion der Wellenfront des mindestens einen Meßlichtbündels (10) auf. Mit der Korrektursensorik (41) ist eine Korrektur von Abbildungsfehlern der Projektionsoptik (1) gewährleistet, ohne daß hierzu Projektionslicht verloren geht.



DE 101 20 446 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, zur Erzeugung eines Bildes eines in einer Objektebene angeordneten Objekts in einer Bildebene mit einer ein Projektionslichtbündel emittierenden Lichtquelle, mit mindestens einer im Strahlengang zwischen der Objektebene und der Bildebene angeordneten Projektionsoptik und mit mindestens einer im Projektionslicht-Strahlengang vor der Bildebene angeordneten optischen Korrekturkomponente, die zur Änderung der optischen Abbildungseigenschaften bei der Projektion derart mit mindestens einem Korrekturmanipulator gekoppelt ist, daß eine mit dem Projektionslichtbündel bestrahlte optische Fläche der optischen Korrekturkomponente zumindest bereichsweise bewegt wird, wobei der Korrekturmanipulator mit einer Korrektursensorik zur Bestimmung der optischen Abbildungseigenschaften bei der Projektion zusammenarbeitet.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Kompensation von in der Projektionsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, auftretenden Abbildungsfehlern.

[0003] Eine Projektionsbelichtungsanlage und ein Verfahren der eingangs genannten Art sind aus der DE 198 24 030 A1 bekannt. Dort ist ein Wellenfrontsensor vorgesehen, der im Bereich der Bildebene angeordnet ist. Dieser kommt entweder in Belichtungspausen oder in nicht beschriebener Weise während der Belichtung zum Einsatz. Wird der Sensor in Belichtungspausen betrieben, so senkt dies den Durchsatz der Projektionsbelichtungsanlage. Wenn dagegen ein derartiger Sensor während der Belichtung eingesetzt ist, kann das vom Sensor aufgenommene Projektionslicht nicht gleichzeitig zur Projektionsbelichtung des Wafers dienen. Dies mindert die Beleuchtungseffizienz der Projektionsbelichtungsanlage.

[0004] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Projektionsbelichtungsanlage der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß Abbildungsfehler bei gleichzeitig hoher Projektionseffizienz korrigiert werden können.

[0005] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Korrektursensorik umfaßt:

- a) eine Lichtquelle, die mindestens ein Meßlichtbündel emittiert, das zumindest einen Teil der Projektionsoptik durchläuft und vor dem Eintritt in die Projektionsoptik und nach dem Austritt aus der Projektionsoptik außerhalb des Projektionslichtbündels liegt,
- b) ein positionsempfindliches Korrektursensorelement zur Detektion der Wellenfront des mindestens einen Meßlichtbündels.

[0006] Der Einsatz von Meßlicht unabhängig vom Projektionslicht gewährleistet, daß das Projektionslicht ohne Verluste zur Beleuchtung des Wafers eingesetzt werden kann.

[0007] Je nachdem, welche Anforderungen an die Genauigkeit der Bestimmungen der Abbildungsfehler gestellt werden, wird ein möglichst großer Aperturbereich der Projektionsoptik von Meßlicht durchstrahlt. Zur breiten Erfassung der Apertur der Projektionsoptik können auch mehrere Meßlichtbündel eingesetzt sein.

[0008] Die Erzeugung des Meßlichtbündels und des Projektionslichtbündels kann unabhängig erfolgen. Für das Meßlicht kann daher z. B. Licht einer Wellenlänge eingesetzt werden, die mit bekannten Sensoren mit hoher Empfindlichkeit erfaßt werden kann und die den Projektionsvorgang auch dann nicht stört, wenn z. B. Reflexe des Meßlichts in den Bereich des Bildes gelangen. Zudem steht das gesamte Projektionslicht für den Projektionsvorgang zur Verfügung.

[0009] Alternativ kann das Meßlichtbündel vom Projektionslichtbündel abgezweigt werden. In der Regel genügt ein kleiner Anteil der Lichtleistung, die die das Projektionslicht emittierende Lichtquelle zur Verfügung stellt, als Meßlicht für das Korrektursensorelement. Daher kann z. B. ein Reflex des Projektionslichtbündels abgezweigt und als Meßlichtbündel eingesetzt werden, ohne daß hierzu nennenswert Lichtleistung des Projektionslichts verloren geht. Projektion und Korrektursensorik lassen sich dann mit nur einer Lichtquelle betreiben.

[0010] Die Projektionsoptik kann derart ausgeführt sein, daß sie mindestens eine Zwischenbildebene aufweist, und das Korrektursensorelement kann in der Zwischenbildebene oder in einer zu dieser konjugierten Ebene liegen. In diesem Fall entspricht die auf das Korrektursensorelement treffende Intensitätsverteilung des Meßlichts derjenigen in der Bildebene, so daß die Bestimmung von Abbildungsfehlern einfach möglich ist. Im Bereich der Zwischenbildebene läßt sich zudem, da hier das Projektionslichtbündel kollimiert ist, eine einfache Trennung des Meßlichtbündels vom Projektionslichtbündel erzielen, so daß das Meßlichtbündel der Korrektursensorik zugeführt werden kann, während das Projektionslichtbündel vollständig für die Projektion zur Verfügung steht.

[0011] Eine bevorzugte Ausführungsform umfaßt mindestens ein optisches Auskoppелеlement zum Auskoppeln des Meßlichtbündels vom Projektionslichtbündel im Bereich einer Zwischenbildebene und/oder einer zu dieser konjugierten Ebene. Ein derartiges Auskoppелеlement erleichtert die Trennung des mindestens einen Meßlichtbündels vom Projektionslichtbündel.

[0012] Das Auskoppелеlement kann ein Spiegel sein. Auskoppelspiegel lassen sich in beliebiger Größe fertigen, insbesondere in ihrer Größe und Stärke exakt an die geometrischen Verhältnisse zum Auskoppeln des Meßlichtbündels vom Projektionslichtbündel anpassen. Darüber hinaus läßt sich ein Auskoppelspiegel mit einer hohen Oberflächenqualität der Reflexionsfläche fertigen, wodurch keine zusätzlichen Abbildungsfehler erzeugt werden.

[0013] Die Korrektursensorik sowie der mindestens eine Korrekturmanipulator können so ausgelegt sein, daß sie während der Projektionsbelichtung arbeiten. Dies erhöht den Durchsatz der Projektionsbelichtungsanlage, da die Projektionsbelichtung zur Korrektur nicht unterbrochen werden muß.

[0014] Die Korrektursensorik kann einen Wellenfrontsensor aufweisen. Mit einem derartigen Sensor ist eine Bestimmung z. B. der Seidelischen Bildfehler auf einfache Weise möglich.

[0015] Das positionsempfindliche Korrektursensorelement kann ein CCD-Array sein. Ein CCD-Array weist eine hohe Positionsauflösung auf und hat eine hohe Quanteneffizienz.

[0016] Die Korrektursensorik kann einen Justagemanipulator zur Justage der Korrektursensorik relativ zur Projektionsoptik aufweisen. Dies ermöglicht die Verwendung einer vorjustierten Korrektursensorik in Verbindung mit einer

Mehrzahl von Projektionsobjektiven. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Projektionsbelichtungsanlage in einem festen zyklischen Betrieb arbeitet und sich zu korrigierende Abbildungsfehler der Projektionsoptik innerhalb eines Zyklus stets wiederholen. In diesem Fall muß nur während eines ersten Zyklus die Korrektursensorik zur Vorgabe von Nachstellwerten für den Korrekturmanipulator an die Projektionsbelichtungsanlage gekoppelt sein, während in den nachfolgenden-Zyklen ein im ersten Zyklus gespeichertes Nachstellprogramm abgerufen wird. In diesen nachfolgenden Zyklen kann die Korrektursensorik zur Einstellung anderer Projektionsbelichtungsanlagen eingesetzt werden. Hierzu wird sie jeweils mit Hilfe des Justagemanipulators einjustiert.

[0017] Als Korrekturkomponente kann ein aktiver Spiegel eingesetzt werden. Dieser kann eine Mehrzahl von mit Korrekturmanipulatoren unabhängig voneinander verlagerbaren Spiegelfacetten oder auch eine deformierbare reflektierende Oberfläche aufweisen. Schließlich ist auch der Einsatz einer aktiven Linse möglich. Derartige aktive Komponenten sind z. B. in der DE 198 27 603 A1 beschrieben. Sie eignen sich zur Korrektur von Abbildungsfehlern beliebiger Symmetrie.

[0018] Alternativ oder zusätzlich kann eine Korrekturkomponente eine Linse sein, die derart ausgeführt ist, daß sie mit dem Korrekturmanipulator verlagert werden kann. Dabei kann eine in Richtung ihrer optischen Achse verlagerbare Linse eingesetzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann eine senkrecht zu ihrer optischen Achse verlagerbare Linse eingesetzt werden. Der Einsatz von derart manipulierbaren Linsen zur Korrektur verschiedener Aberrationen ist bekannt. Der bauliche Aufwand für eine derartige Korrekturkomponente ist gering.

[0019] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß eine effiziente und gleichzeitig abbildungskorrigierte Projektionsbelichtung gewährleistet ist.

[0020] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit folgenden Verfahrensschritten:

- a) Bereitstellen mindestens eines von einem Projektionslichtbündel unabhängig durch zumindest einen Teil der Projektionsoptik geführten Meßlichtbündels;
- b) Messen der optischen Eigenschaften des Meßlichtbündels nach dem zumindest teilweisen Durchgang durch die Projektionsoptik;
- c) Vergleichen des Meßwerts mit mindestens einem vorgegebenen Sollwert;
- d) Nachstellen der gemessenen optischen Eigenschaft in Abhängigkeit von dem Vergleich mit mindestens einer die optische Eigenschaft beeinflussenden Korrekturkomponente.

[0021] Die Vorteile dieses erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen den oben erläuterten Vorteilen der erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungsanlage.

[0022] Die Schritte a bis d können periodisch während der Projektionsbelichtung wiederholt werden.

[0023] Mit einem derartigen Verfahren können sich einstellende Abbildungsfehler während der Projektionsbelichtung korrigiert werden, ohne daß der Projektionsbelichtungsvorgang hierbei unterbrochen werden muß. Gleichzeitig steht, da zur Messung der Abbildungsfehler das mindestens eine Meßlichtbündel eingesetzt wird, das gesamte Projektionslichtbündel zur Projektion zur Verfügung.

[0024] Bevorzugt wird die Wellenfront des Meßlichtbündels in einer Zwischenbildebene oder in einer zu dieser konjugierten Ebene gemessen. Dadurch stehen einfach auszuwertende Meßwerte für auftretende Abbildungsfehler zur Verfügung.

[0025] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens umfaßt folgende Schritte:

- a) Bestimmen einer Abweichung zwischen einer Soll- und einer Ist-Reflexionsfläche eines Spiegels der Projektionsoptik aus den Meßwerten;
- b) Berechnen von Nachstellwerten für die Ist-Reflexionsfläche;
- c) Verformung der Ist-Reflexionsfläche entsprechend den errechneten Nachstellwerten.

[0026] Die durch die berechnete Vorgabe erfolgende Verstellung eines Spiegels gewährleistet je nach dessen Position eine präzise Beeinflussung bestimmter auftretender Abbildungsfehler. Je nach dem, ob der Spiegel feld- oder pupillennah positioniert ist, können Fehler korrigiert werden, die bezüglich verschiedener Feldpunkt selektiv sind oder nicht. Verfahren zur Beeinflussung der Form der Reflexionsfläche eines Spiegels sind bekannt und umfassen sowohl rotations-symmetrische Formbeeinflussungen als auch Beeinflussungen beliebiger Symmetrie.

[0027] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens weist folgende Schritte auf:

- a) Bestimmen einer Abweichung zwischen einer Soll- und einer Ist-Lage einer verlagerbaren Linse des Projektionsobjektivs;
- b) Berechnen von Nachstellwerten für die Ist-Lage;
- c) Verstellen der Ist-Lage entsprechend den errechneten Nachstellwerten.

[0028] Auch hier ist entsprechend der Position der verlagerbaren Linse eine vorgebbare Beeinflussung bestimmter Abbildungsfehler möglich. Dabei kann die Linsenauswahl derart sein, daß nur ein bestimmter Abbildungsfehler vorrangig beeinflusst wird, während andere Fehlertypen unbeeinflusst bleiben. Alternativ kann die Verlagerung der Linse auch mehr als einen Abbildungsfehler beeinflussen. Natürlich können auch mehrere Linsen verlagert werden, wobei z. B. die Verlagerung der einzelnen Linsen derart erfolgt, daß sich bestimmte Abbildungseigenschaften in vorgegebener Größe ändern, während sich Änderungen in anderen Abbildungseigenschaften durch die Linsenverlagerungen gerade kompensieren.

[0029] Das Nachstellen der optischen Eigenschaft kann unter zusätzlicher Berücksichtigung von zu erwartenden Abbildungsfehlern von optischen Komponenten erfolgen, die das Projektionslichtbündel, nicht aber das Meßlichtbündel beeinflussen. Aus der Anzahl und dem Typ der optischen Komponenten, die vom Meßlichtbündel passiert werden, läßt sich hochrechnen, wie sich die optischen Komponenten im nicht vom Meßlichtbündel durchlaufenen Teil der Projektionsop-

tik verhalten. Auf Basis dieser Hochrechnung kann der Abbildungsfehler der Projektionsoptik über das Nachstellen des Korrekturmanipulators derart beeinflusst werden, daß nicht nur die Abbildungsfehler der optischen Komponenten, die vom Meßlichtbündel passiert werden, korrigiert werden, sondern daß eine insgesamt abbildungsfehlerfreie Projektionsoptik resultiert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Projektionsoptik mit den jeweiligen Beleuchtungssettings zu belasten und die Abbildungsfehler zu messen. Damit können die Abbildungsfehler der Projektionsoptik in Abhängigkeit von den Fehlern im vom Meßlichtbündel durchlaufenen Bereich bestimmt werden.

[0030] Die Vorgabe des Sollwerts kann abhängig von einem Beleuchtungssetting erfolgen. Bekannte derartige Beleuchtungssettings weisen z. B. eine homogene oder auch eine ringförmige Beleuchtungsintensität in einer Pupillenebene der Projektionsoptik auf. Auch Beleuchtungsintensitätsverteilungen mit mehrzähliger Symmetrie in der Pupillenebene der Projektionsoptik können eingesetzt sein. Je nach Geometrie und Symmetrie des Beleuchtungssettings kann hierbei ein beleuchtungsinduzierter Abbildungsfehler entsprechender Geometrie und Symmetrie resultieren. Bei bekanntem Beleuchtungssetting kann daher auf Basis der Meßwerte der Korrektursensorik ein Nachstellen mit der entsprechenden Symmetrie erfolgen.

[0031] Die Vorgabe des Sollwerts kann abhängig von einem Objekttyp erfolgen. Die Transmission des Objekts, z. B. eines Retikels bei der Mikro-Lithographie, kann den in der Projektionsoptik resultierenden Abbildungsfehler beeinflussen. Wenn der Objekttyp bekannt ist, kann dies bei der Korrektur der Abbildungsfehler entsprechend berücksichtigt werden.

[0032] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigen:

[0033] Fig. 1 ein katadioptrisches Projektionsobjektiv für die Mikro-Lithographie mit einer Meß- und Korrekturereinrichtung für optische Abbildungsfehler;

[0034] Fig. 2 einen die Beleuchtungsverhältnisse darstellenden Schnitt in der Objektebene des Projektionsobjektivs von Fig. 1;

[0035] Fig. 3 eine Ansicht eines im Projektionsobjektiv von Fig. 1 eingesetzten aktiven Spiegels; und

[0036] Fig. 4 eine alternative Ausführung eines Projektionsobjektivs mit einer Meß- und Korrekturereinrichtung für optische Abbildungsfehler.

[0037] Mit dem in Fig. 1 im Meridionalschnitt dargestellten und insgesamt mit dem Bezugszeichen 1 versehenen Projektionsobjektiv wird eine auf einem Retikel befindliche Struktur verkleinert auf einem Wafer abgebildet. Das nicht dargestellte Retikel ist hierbei in einer Objektebene 2 und der ebenfalls nicht dargestellte Wafer in einer Bildebene 3 angeordnet. Beim Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage, zu der das Projektionsobjektiv 1 gehört, werden sowohl das Retikel in der Objektebene 2 als auch der Wafer in der Bildebene 3 synchron gescannt.

[0038] Die Beleuchtungsverhältnisse in der Objektebene 2 sind in der Fig. 2 dargestellt. Hierbei sind Bündelquerschnitte ohne Rücksicht auf eine etwaige Umlenkung im Bereich der Objektebene 2, also ggf. entfaltet, dargestellt.

[0039] Das Projektionsobjektiv 1 weist ein kreisförmiges korrigiertes Objektfeld 4 mit einem Durchmesser von ca. 162 mm auf. Ein dezentriert von der optischen Achse des Projektionsobjektivs 1 angeordnetes Objektfeld wird von einem rechteckigen Projektionslichtbündel 5 mit einem Seitenverhältnis von 35 mm zu 110 mm durchtreten, das die Struktur auf dem nicht dargestellten Retikel bestrahlt. Die der optischen Achse benachbarte Längsseite des Projektionslichtbündels 5 weist zu dieser einen Abstand von 24,5 mm auf. Das Projektionslichtbündel 5 wird von einem UV-Laser, z. B. einem F₂-Laser mit einer Wellenlänge von 157,13 nm, erzeugt, der in der Zeichnung nicht dargestellt ist und dessen Licht eine entsprechende Beleuchtungsoptik durchlaufen hat. Als Lichtquelle für Projektionslicht kann z. B. auch ein ArF-Laser bei 193,3 nm zum Einsatz kommen.

[0040] Da aufgrund der Strahlführung im Projektionsobjektiv 1 nicht das gesamte korrigierte Objektfeld 4 genutzt werden kann, verbleiben innerhalb des korrigierten Objektfelds 4 in der Objektebene 2 mit einem noch zur erläuternden Toleranzabstand um das Projektionslichtbündel 5 herum zwei Feldabschnitte 6 außerhalb des Projektionslichtbündels 5. Diese werden von drei runden Meßlichtbündeln 7 bis 9 durchstrahlt, die in der Objektebene einen Durchmesser von ca. 2 mm haben.

[0041] Das erste Meßlichtbündel 7 liegt auf der der optischen Achse abgewandten Seite des Projektionslichtbündels 5 und ist der Mitte einer Längsseite von diesem benachbart. Der Abstand des Zentrums des Meßlichtbündels 7 in der Objektebene 2 zur optischen Achse beträgt 65 mm. Das zweite Meßlichtbündel 8 ist der Mitte einer Schmalseite des Projektionslichtbündels 5 benachbart. Das dritte Meßlichtbündel 9 verläuft längs der optischen Achse. Insgesamt werden durch die drei Meßlichtbündel 7 bis 9 aus einem relativ großen Bereich der in Fig. 2 oberen Hälfte des korrigierten Objektfelds 4 Informationen gewonnen.

[0042] Im Prinzip sind auch die sonstigen Feldabschnitte 6 durch Meßlicht, z. B. durch eine Mehrzahl von Meßlichtbündeln, abdeckbar. Der Toleranzabstand der Feldabschnitte 6 um das Projektionslichtbündel 5 in der Objektebene 2 berücksichtigt hierbei die Abschattung durch optische Elemente zur Einkopplung der Meßlichtbündel, so daß das Projektionslichtbündel 5 ungehindert die Projektionsoptik durchlaufen kann. Das Projektionslichtbündel 5 ist in Fig. 1 nur im Bereich des Eintritts in das Projektionsobjektiv 1 gestrichelt dargestellt.

[0043] Die Anordnung der optischen Komponenten des Projektionsobjektivs 1 ist im Anhang in Tabelle 1 quantitativ wiedergegeben. Dies erfolgt in einem bekannten Format-Standard für optisches Design, dem Format Code V. Das Design des Projektionsobjektivs 1 entspricht dem fünften Ausführungsbeispiel der US-Anmeldung Ser. No. 60/173523.

[0044] Die laufenden Nummern der ersten Spalte der Tabelle 1 stehen für die optischen Flächen (OBJ) des Projektionsobjektivs 1. Die Objektebene 2 entspricht beispielsweise der optischen Fläche mit der laufenden Nr. "2". In der zweiten Spalte ist den Flächen ein Krümmungsradius (RDY) zugeordnet. Der Wert in der dritten Spalte ist ein Maß für den Abstand (THI) der jeweiligen optischen Fläche zur jeweils vorhergehenden optischen Fläche, gemessen längs der optischen Achse.

[0045] In Fig. 1 ist das Projektionsobjektiv 1 in der Y-Z-Ebene des Code V Formats dargestellt. Die spaltenweise Beschreibung der optischen Flächen in Tabelle 1 ist bei bestimmten optischen Flächen unterbrochen durch zusätzliche Parameterangaben, die nachfolgend erläutert werden:

XDE, YDE und ZDE stehen für Verschiebungen der jeweils vorhergehenden optischen Fläche in X-, Y- und Z-Richtung.

ADE, BDE und CDE stehen für Verkipnungen der jeweils vorhergehenden optischen Fläche um die X-, Y- und Z-Achse. [0046] ASP steht für eine vorausgehende asphärische Fläche, die durch in der Tabelle folgende Parameter beschrieben wird, die in die Code V Asphärenformel eingesetzt werden.

[0047] Die refraktiven Komponenten des Projektionsobjektivs 1 sind aus CaF_2 . Bei einer Wellenlänge von 157,13 nm hat CaF_2 einen Brechungsindex von 1,55971.

[0048] Der Strahlengang des Meßlichts durch das Projektionsobjektiv 1 wird nun anhand von Fig. 1 beschrieben. Dabei dient ein einen Punkt der Objektebene 2 durchtretendes Meßlicht-Teilbündel 10, das zentral im Meßlichtbündel 7 (in Fig. 1 nicht dargestellt, vgl. Fig. 2) liegt, zur Veranschaulichung. Dieses wird von einer Meßlichtquelle 11, z. B. einem Helium-Neon-Laser mit einer Wellenlänge von 632,8 nm, erzeugt. Die in Fig. 1 nicht dargestellten Meßlichtbündel 8 und 9 werden von separaten Meßlichtquellen erzeugt.

[0049] Eine Strahlformungsoptik 12, z. B. ein justierbares Zoom-Objektiv, sorgt zur Bündelformung des von der Meßlichtquelle 11 ausgesandten Meßlichtbündels 7, so daß das Meßlicht-Teilbündel 10 an das Projektionsobjektiv 1 angepaßt ist. Diese Anpassung beinhaltet, daß eine Position, an der das Meßlicht-Teilbündel 10 und somit das gesamte Meßlichtbündel 7 kollimiert ist, im Bereich der Objektebene 2 liegt. Außerdem ist die Divergenz des Meßlicht-Teilbündels 10 und somit des gesamten Meßlichtbündels 7 an die numerische Apertur des Projektionsobjektivs 1 angepaßt. In gleicher Weise sind die Meßlichtbündel 8 und 9 angepaßt.

[0050] Das Meßlicht-Teilbündel 10 verläuft von der Strahlformungsoptik 12 ausgehend zunächst parallel zur Objektebene 2 und wird von einem Einkoppelspiegel 13 um annähernd 90° in Richtung des Projektionsobjektivs 1 abgelenkt. Der Einkoppelspiegel 13 ist dabei derart angeordnet, daß der Ort der Reflexion des Meßlicht-Teilbündels 10 in der Objektebene 2 liegt.

[0051] Nach der Reflexion am Einkoppelspiegel 13 tritt das Meßlicht-Teilbündel 10 zunächst durch eine der Objektebene 2 benachbarte Linse 14 mit positiver Brechkraft. Anschließend wird es von der Reflexionsfläche eines ersten Planspiegels 15 in der Zeichenebene von Fig. 1 in einem stumpfen Winkel in Richtung einer aus drei Einzellinsen 16, 17, 18 bestehenden Linsengruppe 19 reflektiert.

[0052] Die Einzellinse 16, die dabei zuerst durchtreten wird, ist mit einer Antriebseinrichtung 20 verbunden. Mit deren Hilfe kann die Einzellinse 16 in Richtung ihrer optischen Achse verlagert werden, wie dies in Fig. 1 durch den Doppelpfeil 22 dargestellt ist. Die Antriebseinrichtung 20 wird über eine Steuerleitung 23 angesteuert, wie nachfolgend noch beschrieben wird.

[0053] Das Meßlicht-Teilbündel 10 trifft nach einem ersten Durchgang durch die Linsengruppe 19 auf einen konkaven aktiven Spiegel 24. Dieser weist eine Reflexionsschicht 25 auf, die von einem Tragkörper 26 getragen wird.

[0054] Die nähere Ausgestaltung des aktiven Spiegels 24 zeigt Fig. 3: Die Reflexionsschicht 25 des aktiven Spiegels 24 ist in eine Vielzahl quadratischer Spiegelfacetten 27 unterteilt. An der von der Reflexionsschicht 25 abgewandten Seite einer Spiegelfacetten 27 ist ein Korrekturaktuator 28 angeordnet, der in Fig. 3 nur für eine Spiegelfacetten 27 schematisch gestrichelt dargestellt ist.

[0055] Die Korrekturaktuatoren 28 der Spiegelfacetten 27 sind jeweils über eine Steuerleitung 29 mit einem Multiplexer 30 verbunden. In Fig. 1 sind alle Steuerleitungen 29 zu einem Steuerleitungsbündel 31 zusammengefaßt.

[0056] Die Steuerinformation wird dem Multiplexer 30 über eine Steuerleitung 32 in noch zu beschreibender Weise zugeführt.

[0057] Die Brechkraft der Linse 14 und der Linsengruppe 19 ist derart, daß die Reflexionsschicht 25 des aktiven Spiegels 24 im Bereich einer Pupillenebene des Projektionsobjektivs 1 liegt. Das zu einem Punkt in der Objektebene 2 gehörende Meßlicht-Teilbündel 10 nimmt also praktisch die gesamte Apertur der Reflexionsschicht 25 ein.

[0058] Nach der Reflexion an der Reflexionsschicht 25 durchtritt das Meßlicht-Teilbündel 10 in einem zweiten Durchlauf die Linsengruppe 19. Anschließend wird es von der Reflexionsfläche eines zweiten Planspiegels 33 in der Zeichenebene so reflektiert, daß der Schwerstrahl des Meßlicht-Teilbündels 10 um ca. 90° umgelenkt wird.

[0059] Im Strahlengang nach der Reflexion am Planspiegel 33 weist das Projektionsobjektiv 1 eine Zwischenbildebene 34 auf. In dieser ist ein gestrichelt dargestellter Auskoppelspiegel 35 derart angeordnet, daß der Ort der Reflexion des Meßlicht-Teilbündels 10 in der Zwischenbildebene 34 liegt.

[0060] Der Auskoppelspiegel 35 liegt außerhalb des innerhalb des Projektionsobjektivs 1 nicht dargestellten Projektionslichtbündels 5. Nach der Reflexion am Auskoppelspiegel 35 verläuft der Schwerstrahl des Meßlicht-Teilbündels 10 parallel zum Schwerstrahl des Meßlicht-Teilbündels 10 vor dem Einkoppelspiegel 13. Nach dem Auskoppelspiegel 35 durchtritt das Meßlicht-Teilbündel 10 eine Detektionsoptik 36 und fällt auf ein zweidimensionales CCD-Array 37, das senkrecht zum einfallenden Schwerstrahl des Meßlicht-Teilbündels 10 angeordnet ist.

[0061] Die mit dem CCD-Array 37 gemessene zweidimensionale Intensitätsverteilung des Meßlichtbündels 7 wird an einen Korrekturrechner 38 weitergegeben. Über die Steuerleitung 32 (Verbindung A-A) steht der Korrekturrechner 38 mit dem Multiplexer 30 in Verbindung. Mit der Antriebseinrichtung 20 steht der Korrekturrechner 38 über die Steuerleitung 23 (Verbindung B-B) in Verbindung.

[0062] Die gesamte Detektoreinheit 39, die die Detektionsoptik 36, das CCD-Array 37 sowie den Korrekturrechner 38 umfaßt, ist gemeinsam mit der Meßlichtquelle 11 und der Strahlführungsoptik 12 auf einem Verschiebetisch 40 angeordnet und bildet mit diesen Komponenten insgesamt eine Korrektursensorik 41.

[0063] Der Verschiebetisch 40 kann mit Hilfe einer Antriebseinrichtung 42 in Richtung des ein- bzw. ausgekoppelten Meßlicht-Teilbündels 10 verschoben werden.

[0064] Bei einer alternativen Ausführungsform wird das Meßlichtbündel 10 nicht im Bereich der Zwischenbildebene 34 sondern im Bereich der Bildebene 3 ausgekoppelt. Die Korrektursensorik erfaßt in diesem Fall die Abbildungseigenschaften von allen optischen Komponenten innerhalb des Projektionsobjektivs 1. Zur Veranschaulichung des Meßlichtbündels 10' im Projektionsobjektiv 1 bei dieser alternativen Ausführungsform ist der weitere Verlauf des Meßlichtbündels 10' auch nach dem Auskoppelspiegel 35 dargestellt. Die Auskopplung sowie die Korrektursensorik sind bei dieser Alternative nicht gezeigt.

[0065] Der Strahlengang des Projektionslichtbündels 5 ähnelt dem dargestellten alternativen Strahlengang des Meß-

lichtbündels 10'.

[0066] Nach dem Durchtreten der Linse 14 und der Reflexion am ersten Planspiegel 15 durchtritt das Projektionslichtbündel 5 die Linsengruppe 19 in Hin- und Rücklauf, wobei zwischen Hin- und Rücklauf eine Reflexion an der Reflexionschicht 25 des aktiven Spiegels 24 erfolgt. Nach dem Rücklauf durch die Linsengruppe 19 wird das Projektionslichtbündel 5 am zweiten Planspiegel 33 reflektiert und durchtritt anschließend eine aus zwölf Einzellinsen 43 bis 54 bestehende Linsengruppe 55. Durch die Linsengruppe 55 wird das Projektionslichtbündel 5 in die Bildebene 3 abgebildet.

[0067] Gemeinsam mit dem aktiven Spiegel 24 stellt die Korrektursensorik 41 eine Meß- und Korrekturanrichtung für Abbildungsfehler, die im Projektionsobjektiv 1 auftreten, dar. Diese Meß- und Korrekturanrichtung funktioniert folgendermaßen:

10 Auf dem CCD-Array 37 erfolgt mittels der Detektionsoptik 36 eine Abbildung des vom Meßlichtbündel 7 durchstrahlten Bereichs der Zwischenbildebene 34. Daher kann aus der Intensitätsverteilung auf dem CCD-Array 37 auf die Wellenfront des Meßlichtbündels 7 geschlossen werden. Die gemessene Wellenfrontinformation wird mit einem Wellenfront-Sollwert zur Bestimmung einer Wellenfrontabweichung verglichen. Diese Vergleichsbildung erfolgt im Korrekturrechner 38. Ebenfalls dort wird anhand des Vergleichswerts berechnet, wie sich die Position bzw. die Form der Reflexionschicht 25 ändern muß, damit die gemessene Ist-Wellenfront in die Soll-Wellenfront übergeführt wird. Zusätzlich wird berechnet, inwieweit eine Verlagerung der Einzellinse 16 längs des Doppelpfeils 22 die Differenz zwischen dem Istwert und dem Sollwert der Wellenfront weiter verringert. Die berechneten Vorgabewerte für die Verlagerung der einzelnen Spiegelfacetten 27 und für die Verlagerung der Einzellinse 16 werden über die Steuerleitungen 32 und 23 an den Multiplexer 30 und die Antriebseinrichtung 20 übertragen.

20 [0068] Die Übertragung auf der Steuerleitung 32 erfolgt dabei in derart digital codierter Form, daß im Multiplexer 30 eine Zuordnung der Steuerdaten zu den einzelnen Spiegelfacetten 27 erfolgen kann, so daß diese unabhängig voneinander manipuliert werden können. Diese Steuerdaten werden dann über das Steuerleitungsband 31 an die Korrekturaktuatoren 28 der einzelnen Spiegelfacetten 27 übertragen. Mit Hilfe der Korrekturaktuatoren 28 ist abhängig von den übermittelten Steuerdaten eine Einstellung der Neigung der einzelnen Spiegelfacetten 27 und eine Verlagerung der Spiegelfacetten 27 in Richtung der optischen Achse möglich. Dazu weist jeder Korrekturaktuator 28 eine Mehrzahl von unabhängig ansteuerbaren Piezoelementen auf.

[0069] Durch das unabhängige Nachstellen der Spiegelfacetten 27 erfolgt eine Deformation der Reflexionsschicht 25 gemäß den über die Steuerleitung 32 vorgegebenen Nachstellwerten. Diese Deformation wirkt sich als Änderung der Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 1 aus.

30 [0070] Über die Steuerleitung 23 wird die Antriebseinrichtung 20 vom Korrekturrechner 38 zur Verlagerung der Einzellinse 16 entsprechend dem zugehörigen Nachstellwert in Richtung des Doppelpfeils 22 angesteuert. Die Antriebseinrichtung 20 kann ebenfalls eine Mehrzahl von Piezoelementen aufweisen. Derartige Antriebseinrichtungen zur Linsenverlagerung sind bekannt. Auch durch die Linsenverlagerung ändern sich die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 1.

35 [0071] Prinzipiell sind zwei unterschiedliche Betriebsweisen der beschriebenen Meß- und Korrekturanrichtung möglich:

In einer ersten Betriebsart erfolgt ein Ausgleich von optischen Abbildungsfehlern durch die Meß- und Korrekturanrichtung, die durch die optischen Komponenten erzeugt werden, die sowohl von den Meßlichtbündeln 7 bis 9 (vgl. stellvertretend hierfür das Meßlicht-Teilbündel 10 des Meßlichtbündels 7 in Fig. 1) als auch vom Projektionslichtbündel 5 bestrahlt werden. Dies sind die optischen Komponenten 14 bis 18, 25 sowie 33.

40 [0072] Bei einer zweiten Betriebsweise kann anhand der gemessenen Abweichung der Wellenfront eine Hochrechnung über die im gesamten Projektionsobjektiv 1 zu erwartenden Abbildungsfehler erfolgen. Zur gemessenen Wellenfrontabweichung wird dann der Beitrag der nicht erfaßten Linsenflächen der Linsengruppe 55 hinzugerechnet. Die Antriebseinrichtung 20 sowie der aktive Spiegel 24 werden vom Korrekturrechner 38 derart angesteuert, daß die hochgerechnete Gesamtwellenfrontabweichung kompensiert wird.

45 [0073] Das Nachstellen optischer Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 1 gemäß den beschriebenen Betriebsarten erfolgt während der Projektionsbelichtung. Dies ist möglich, weil das Einkoppeln und das Auskoppeln der Meßlichtbündel 7 bis 9 ohne Störung des Projektionslichtbündels 5 erfolgen kann. Aus der Darstellung in Fig. 2 wird insbesondere deutlich, daß zwischen den Meßlichtbündeln 7 bis 9 und dem Projektionslichtbündel 5 in der Objektebene 2 und damit auch in der zu dieser konjugierten Zwischenbildebene 34 ausreichend Abstand gehalten werden kann. Hierzu müssen der Einkoppelspiegel 13 und der Auskoppelspiegel 35 nur ausreichend dünn und schmal ausgeführt sein.

50 [0074] Damit eine möglichst aussagekräftige Information über die Wellenfrontänderung erhalten wird, werden, wie in Fig. 2 dargestellt, insgesamt drei über das Objektfeld verteilte Meßlichtbündel 7 bis 9 eingesetzt, so daß zwischen Abbildungsfehlern, die in feld- und in pupillennahen Bereichen des Projektionsobjektivs 1 vorliegen, unterschieden werden kann:

55 In gleicher Weise in ihrer Wellenfront beeinflusste Meßlichtbündel 7 bis 9 deuten auf einen Abbildungsfehler im Bereich einer Pupillenebene hin. Werden die Meßlichtbündel 7 bis 9 hingegen unterschiedlich beeinflusst, deutet dies auf einen Abbildungsfehler im Bereich einer Feldebene hin.

[0075] Die Meßlichtbündel 7 bis 9 können entweder gemeinsam mit einem Einkoppelspiegel und einem Auskoppelspiegel umgelenkt werden oder auch separat mit jeweils zugeordneten Spiegeln ein- bzw. ausgekoppelt werden.

60 [0076] Die verschiedenen Meßlichtbündel 7 bis 9 können entweder gemeinsam mit der gleichen Detektoreinheit 39 vermessen werden oder es können Detektoreinheiten eingesetzt sein, die den einzelnen Meßlichtbündeln 7 bis 9 zugeordnet sind. Die mittels der letztgenannten Alternative aufgenommenen Meßdaten werden dann in einem Hauptrechner, dem die Daten der einzelnen Korrekturrechner 38 zufließen, verarbeitet und in Signaldaten für die Antriebseinrichtung 20 sowie die Korrekturaktuatoren 28 umgesetzt.

65 [0077] Als Sensor zur Bestimmung der Wellenfront der Meßlichtbündel 7 bis 9 kann ein Shack-Hartmann-Sensor eingesetzt sein. Bei einem derartigen Wellenfrontsensor wird die Pupille unterteilt und lokal die Verkipfung der Wellenfront gemessen. Hierzu wird die Wellenfront mit einem Linsenarray auf ein Detektorarray, z. B. ein CCD-Array, abgebildet.

Aus der gemessenen Ablage der Foci der einzelnen Linsen in der Detektorebene von Soll-Lagen, die einer unverkippten Wellenfront am Ort der jeweiligen Linse entsprechen würden, läßt sich die dortige Verkipfung der Wellenfront berechnen. Durch Integration über das gesamte Array ergibt sich dann die Wellenfront.

[0078] Je nach Art der zu korrigierenden Abbildungsfehler, d. h. je nachdem, ob die Projektionsbelichtungsanlage bezüglich ihrer Abbildungsfehler rasch einen stationären Zustand erreicht oder nicht, arbeitet die Meß- und Korrekturanrichtung entweder im Rahmen eines Initialisierungsprozesses bei der Inbetriebnahme der Projektionsbelichtungsanlage oder sie arbeitet kontinuierlich. Beim kontinuierlichen Verfahren wird in vorgegebenen Zeitabständen die Änderung der Wellenfront gemessen und abhängig davon erfolgt eine Verlagerung der Einzellinse 16 bzw. der Spiegelfacetten 27. Da die Zyklusdauer nur von der Rechengeschwindigkeit des Korrekturrechners 38, der Ansteuergeschwindigkeit der Antriebseinrichtung 20 und der Trägheit der Korrekturaktuatoren 28 abhängt, ist ein rasches Aufeinanderfolgen der Zyklen möglich, um auch relativ schnell entstehende, z. B. beleuchtungsinduzierte Abbildungsfehler ausgleichen zu können.

[0079] In die Nachstellwerte, die vom Korrekturrechner 38 berechnet werden, können neben dem Wellenfrontmeßwert und der vorstehend schon beschriebenen Hochrechnungsinformation, welche antizipierend Abbildungsfehler in nicht vom Meßlicht durchlaufenen optischen Komponenten berücksichtigt, auch noch andere Daten eingehen. Beispiele hierfür sind Daten, die sich aus dem vorgegebenen Beleuchtungssetting, d. h. der Intensitätsverteilung des Projektionslichtbündels 5 in einer Pupillenebene des Projektionsobjektivs 1, ergeben. Die Symmetrie des gewählten Beleuchtungssettings kann z. B. bestimmte Symmetrien auftretender Abbildungsfehler bedingen. Mit derartigen Symmetrieeinformationen können Nachstellwerte für Abbildungsfehler berechnet werden, die an nicht von den Meßlichtbündeln durchtretenen Komponenten vorliegen.

[0080] Auch die Retikelstruktur kann als Vorgabeinformation in die Berechnung der Nachstellwerte eingehen, da auch das Transmissionsverhalten des Retikels eine bestimmte Form oder Symmetrie auftretender Abbildungsfehler bedingen kann.

[0081] Eine alternative Ausführungsform einer Meß- und Korrekturanrichtung, die mit einem Projektionsobjektiv zusammenarbeitet, ist schematisch in Fig. 4 gezeigt. Bauelemente, die denjenigen entsprechen, die im Zusammenhang mit den Fig. 1 bis 3 erläutert wurden, tragen um 100 erhöhte Bezugszeichen und werden nicht nochmals im einzelnen beschrieben.

[0082] In der Fig. 4 sind die Antriebseinrichtung für die Einzellinse 116 sowie der Multiplexer 130 und die zugehörigen Verbindungen bzw. Verbindungsleitungen weggelassen.

[0083] Auch bei der Ausführungsform der Fig. 4 ist stellvertretend für die Meßlichtbündel, die bei der Meß- und Korrekturanrichtung zum Einsatz kommen, der Strahlengang eines Meßlicht-Teilbündels 110 eingezeichnet.

[0084] Anstelle zweier Planspiegel 15, 33 wie bei der Ausführungsform nach Fig. 1 ist zur Umlenkung der Bündel bei der Ausführungsform nach Fig. 4 innerhalb des Projektionsobjektivs ein Spiegelprisma 150 mit zwei Reflexionsflächen eingesetzt, wobei diejenige Reflexionsfläche des Spiegelprismas 150, die jeweils dem Planspiegel 15 bzw. 33 entspricht, das entsprechende Bezugszeichen 115 bzw. 133 trägt.

[0085] Das Meßlicht-Teilbündel 110 wird nicht über Spiegel in das Projektionsobjektiv 101 ein- bzw. ausgekoppelt, sondern zur Ein- bzw. Auskopplung seitlich an den Reflexionsflächen 115 bzw. 133 des Spiegelprismas 150 vorbei in das und aus dem Projektionsobjektiv 1 geführt. Die Linse 114 wird dabei vom Meßlicht-Teilbündel 110 nicht durchtreten.

[0086] Sowohl die Divergenz des Meßlicht-Teilbündels 110 als auch der Ort einer ersten Kollimationsebene 160, die das Meßlicht-Teilbündel 110 nach der Strahlführungsoptik 112 aufweist, sind an das Projektionsobjektiv 101 derart angepaßt, daß sie der numerischen Apertur des Projektionsobjektivs 101 sowie der Position der Objektebene 102 entsprechen.

[0087] Das Meßlicht-Teilbündel 110 durchtritt die Linsengruppe 119, die bei dieser Ausführungsform nur zwei Linsen 116, 117 umfaßt, im Hin- und Rücklauf, wobei zwischen Hin- und Rücklauf eine Reflexion an der Reflexionsschicht 125 erfolgt. In diesem Bereich entspricht der Strahlengang des Meßlicht-Teilbündels 110 bis auf die Tatsache, daß der Schwerstrahl des Meßlicht-Teilbündels 110 gegenüber der optischen Achse 121 leicht geneigt ist, demjenigen des Meßlicht-Teilbündels 10 von Fig. 1.

[0088] Nach dem Rücklauf durch die Linsengruppe 119 passiert das Meßlicht-Teilbündel 110 das Spiegelprisma 150 an der der Einkoppelseite gegenüberliegenden Seite. Anschließend wird es von einer Detektionsoptik 136 auf ein CCD-Array 137 abgebildet, so daß auch hier eine Wellenfrontabweichung in analoger Weise, wie im Zusammenhang mit der Fig. 1 beschrieben, gemessen werden kann.

[0089] Die Linsengruppe 155, die nach der Zwischenbildebene 134 das Projektionslichtbündel 105 in die Bildebene 103 abbildet, umfaßt bei der Ausführungsform der Fig. 4 fünf Einzellinsen 143 bis 147.

[0090] Bei der Übertragung der Betriebsweisen, die im Zusammenhang mit der Meß- und Korrekturanrichtung der Fig. 1 beschrieben wurden, auf die Fig. 4 ist zu beachten, daß jetzt die Einzellinse 114 nicht mehr von den Meßlichtbündeln durchstrahlt wird. Daher äußern sich z. B. Abbildungsfehler der Einzellinse 114 nicht in einer mit der Korrektursensorik 141 gemessenen Wellenfrontabweichung. Es werden somit bei dieser Ausführungsform nur Abbildungsfehler erfaßt, die von den optischen Flächen der Linsengruppe 119 sowie von der Reflexionsfläche 125 erzeugt werden. Dies muß entsprechend auch bei der in Zusammenhang mit der Fig. 1 beschriebenen Hochrechnung der Abbildungsänderungen des gesamten Projektionsobjektivs 101 berücksichtigt werden.

[0091] Eine andere, nicht dargestellte Möglichkeit zur Ein- und Auskopplung der Meßlichtbündel im Bereich der Projektionsoptik ist ein teildurchlässiger Spiegel, der an einer beliebigen Stelle in den Strahlengang eingebracht werden kann, und eine nachgeschaltete Optik. Der teildurchlässige Spiegel kann z. B. ein dichroitischer Spiegel sein, der bei der Projektionslichtwellenlänge durchlässig ist und die Meßlichtwellenlänge reflektiert. Wenn der teildurchlässige Spiegel das Projektionslicht nicht vollständig durchläßt, wird dabei allerdings die Transmission des gesamten Objektivs verringert.

DE 101 20 446 A 1

Tabelle 1

	RDY	THI	RMD	GLA
> OBJ:	INFINITY	0.000000		
1:	INFINITY	34.000000		
5 2:	326.89134	18.000000		'CAF2'
3:	7134.75200	91.000000		
4:	INFINITY	-438.917225	REFL	
XDE:	0.000000	YDE: 0.000000	ZDE: 0.000000	BEN
ADE:	50.000000	BDE: 0.000000	CDE: 0.000000	
10 5:	-386.39605	-22.000000		'CAF2'
6:	-3173.10800	-23.000000		
7:	263.73446	-13.000000		'CAF2'
8:	-1274.99700	-36.757293		
9:	173.05552	-14.000000		'CAF2'
10 10:	398.57456	-12.325630		
11:	246.26462	12.325630	REFL	
12:	398.57456	14.000000		'CAF2'
13:	173.05552	36.757293		
14:	-1274.99700	13.000000		'CAF2'
15 15:	263.73446	23.000000		
16:	-3173.10800	22.000000		'CAF2'
17:	-386.39605	0.000000		
18:	INFINITY	435.917225		
19:	INFINITY	0.000000	REFL	
XDE:	0.000000	YDE: 0.000000	ZDE: 0.000000	BEN
ADE:	40.000000	BDE: 0.000000	CDE: 0.000000	
25 20:	INFINITY	-78.197752		
21:	INFINITY	-40.000000		
22:	INFINITY	-19.962459		
23:	-305.29233	-35.000000		'CAF2'
30 ASP:				
K :	0.000000			
IC :	YES	CUF: 0.000000		
A :	0.983943E-08	B :-.197982E-13	C :-.331141E-17	D :0.546921E-21
E :	-.476299E-25	F :0.165982E-29	G :0.000000E+00	H :0.000000E+00
J :	0.000000E+00			
35 24:	609.90977	-175.000000		
25:	211.27437	-20.000000		'CAF2'
26:	296.93430	-1.000000		
27:	-918.04784	-32.000000		'CAF2'
28:	450.01625	-10.220682		
29:	-211.00994	-35.000041		'CAF2'
40 30:	-147.86638	-291.880529		
ASP:				
K :	0.000000			
IC :	YES	CUF: 0.000000		
A :	-.102239E-07	B :-.375361E-12	C :-.202452E-16	D :0.158059E-22
E :	-.105932E-24	F :0.746588E-30	G :0.000000E+00	H :0.000000E+00
J :	0.000000E+00			
55 31:	-302.52916	-14.999813		'CAF2'
32:	-182.15262	-32.488787		
33:	-325.54311	-32.000000		'CAF2'
50 34:	472.69366	-3.402424		
35:	-132.72874	-19.621815		'CAF2'
36:	-197.27963	0.000000		
ASP:				
K :	0.000000			
IC :	YES	CUF: 0.000000		
A :	-.132547E-07	B :-.196227E-12	C :-.495156E-17	D :-.179425E-21
E :	-.681679E-25	F :-.439118E-29	G :0.000000E+00	H :0.000000E+00
J :	0.000000E+00			
60				
65				

STO:	INFINITY	-50.801191	
38:	-1247.88900	-21.000000	'CAF2'
39:	441.06952	-1.000000	
40:	-106.43847	-30.279452	'CAF2'
41:	-390.31325	-17.376730	
42:	262.38753	-10.000000	'CAF2'
43:	-8245.04000	-1.000000	
44:	-105.22412	-35.374148	'CAF2'
45:	-380.86930	-1.000000	
46:	-131.60165	-36.324916	'CAF2'
47:	9747.89700	-12.069886	

ASP:

K :	0.000000		
IC :	YES	CUF:	0.000000
A :-	179402E-06	B :	0.398734E-10
E :	0.703555E-19	F :-	266200E-22
J :	0.000000E+00	C :	0.217607E-13
		D :-	684630E-16
		G :	0.000000E+00
		H :	0.000000E+00

IMG: INFINITY 0.000355

Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, zur Erzeugung eines Bildes eines in einer Objektebene angeordneten Objekts in einer Bildebene mit einer ein Projektionslichtbündel emittierenden Lichtquelle, mit mindestens einer im Strahlengang zwischen der Objektebene und der Bildebene angeordneten Projektionsoptik und mit mindestens einer im Projektionslicht-Strahlengang vor der Bildebene angeordneten optischen Korrekturkomponente, die zur Änderung der optischen Abbildungseigenschaften bei der Projektion derart mit mindestens einem Korrekturmanipulator gekoppelt ist, daß eine mit dem Projektionslichtbündel bestrahlte optische Fläche der optischen Korrekturkomponente zumindest bereichsweise bewegt wird, wobei der Korrekturmanipulator mit einer Korrektursensorik zur Bestimmung der optischen Abbildungseigenschaften bei der Projektion zusammenarbeitet, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrektursensorik (41; 141) umfaßt:
 - a) eine Lichtquelle (11; 111), die mindestens ein Meßlichtbündel (7, 8, 9, 10; 110) emittiert, das zumindest einen Teil der Projektionsoptik (1; 101) durchläuft und vor dem Eintritt in die Projektionsoptik (1; 101) und nach dem Austritt aus der Projektionsoptik (1; 101) außerhalb des Projektionslichtbündels (5; 105) liegt,
 - b) ein positionsempfindliches Korrektursensorelement (37; 137) zur Detektion der Wellenfront des mindestens einen Meßlichtbündels (7, 8, 9, 10; 110).
2. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine unabhängige Erzeugung des Meßlichtbündels (7, 8, 9, 10; 110) und des Projektionslichtbündels (5; 105).
3. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßlichtbündel vom Projektionslichtbündel abgezweigt ist.
4. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektionsoptik (1; 101) derart ausgeführt ist, daß sie mindestens eine Zwischenbildebene (34; 134) aufweist, und daß das Korrektursensorelement in der Zwischenbildebene (34; 134) oder in einer zu dieser konjugierten Ebene liegt.
5. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein optisches Auskoppелеlement (13, 35) zum Auskoppeln des Meßlichtbündels (10) vom Projektionslichtbündel (5) im Bereich einer Zwischenbildebene (34) und/oder einer zu dieser konjugierten Ebene (3).
6. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Auskoppелеlement ein Spiegel (13, 35) ist.
7. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektursensorik (41; 141) sowie der mindestens eine Korrekturmanipulator (20, 28) so ausgelegt sind, daß sie während der Projektionsbelichtung arbeiten.
8. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektursensorik (41; 141) einen Wellenfrontsensor aufweist.
9. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das positionsempfindliche Korrektursensorelement ein CCD-Array (37; 137) ist.
10. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektursensorik (41) einen Justagemanipulator (42) zur Justage der Korrektursensorik (41) relativ zur Projektionsoptik (1) aufweist.
11. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Korrekturkomponente ein aktiver Spiegel (24; 124) ist.
12. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Spiegel (24; 124) eine Mehrzahl von mit Korrekturmanipulatoren (28) unabhängig voneinander verlagerbaren Spiegelfacetten (27) aufweist.
13. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Spiegel (24; 124) eine deformierbare reflektierende Oberfläche aufweist.
14. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Korrekturkomponente eine aktive Linse ist.
15. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine

Korrekturkomponente eine Linse (16) ist, die derart ausgeführt ist, daß sie mit dem Korrekturmanipulator (20) verlagert werden kann.

16. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 15, gekennzeichnet durch eine in Richtung ihrer optischen Achse (21) verlagerbare Linse.

17. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 15 oder 16, gekennzeichnet durch eine senkrecht zu ihrer optischen Achse (21) verlagerbare Linse.

18. Verfahren zur Kompensation von in der Projektionsoptik einer Projektionsbelichtungsanlage, insbesondere für die Mikro-Lithographie, auftretenden Abbildungsfehlern, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- a) Bereitstellen mindestens eines von einem Projektionslichtbündel (5; 105) unabhängig durch zumindest einen Teil der Projektionsoptik (1; 101) geführten Meßlichtbündels (7, 8, 9, 10; 110);
- b) Messen der optischen Eigenschaften des Meßlichtbündels (7, 8, 9, 10; 110) nach dem zumindest teilweisen Durchgang durch die Projektionsoptik (1; 101);
- c) Vergleichen des Meßwerts mit mindestens einem vorgegebenen Sollwert;
- d) Nachstellen der gemessenen optischen Eigenschaft in Abhängigkeit von dem Vergleich mit mindestens einer die optische Eigenschaft beeinflussenden Korrekturkomponente (16, 24; 124).

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte a bis d periodisch während der Projektionsbelichtung wiederholt werden.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, gekennzeichnet durch das Messen der Wellenfront des Meßlichtbündels (7, 8, 9, 10; 110) in einer Zwischenbildebene oder in einer zu dieser konjugierten Ebene.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, gekennzeichnet durch folgenden Verfahrensschritte:

- a) Bestimmen einer Abweichung zwischen einer Soll- und einer Ist-Reflexionsfläche (25; 125) eines Spiegels (24; 124) der Projektionsoptik (1; 101) aus den Meßwerten;
- b) Berechnen von Nachstellwerten für die Ist-Reflexionsfläche;
- c) Verformung der Ist-Reflexionsfläche (25; 125) entsprechend den errechneten Nachstellwerten.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 21, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- a) Bestimmen einer Abweichung zwischen einer Soll- und einer Ist-Lage einer verlagerbaren Linse (16) des Projektionsobjektivs (1; 101);
- b) Berechnen von Nachstellwerten für die Ist-Lage;
- c) Verstellen der Ist-Lage entsprechend den errechneten Nachstellwerten.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Nachstellen der optischen Eigenschaft unter zusätzlicher Berücksichtigung von zu erwartenden Abbildungsfehlern von optischen Komponenten (43 bis 54; 114, 143 bis 147) erfolgt, die das Projektionslichtbündel (5; 105), nicht aber das Meßlichtbündel (7, 8, 9, 10; 110) beeinflussen.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorgabe des Sollwerts abhängig von einem Beleuchtungssetting erfolgt.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorgabe des Sollwerts abhängig von einem Objekttyp erfolgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

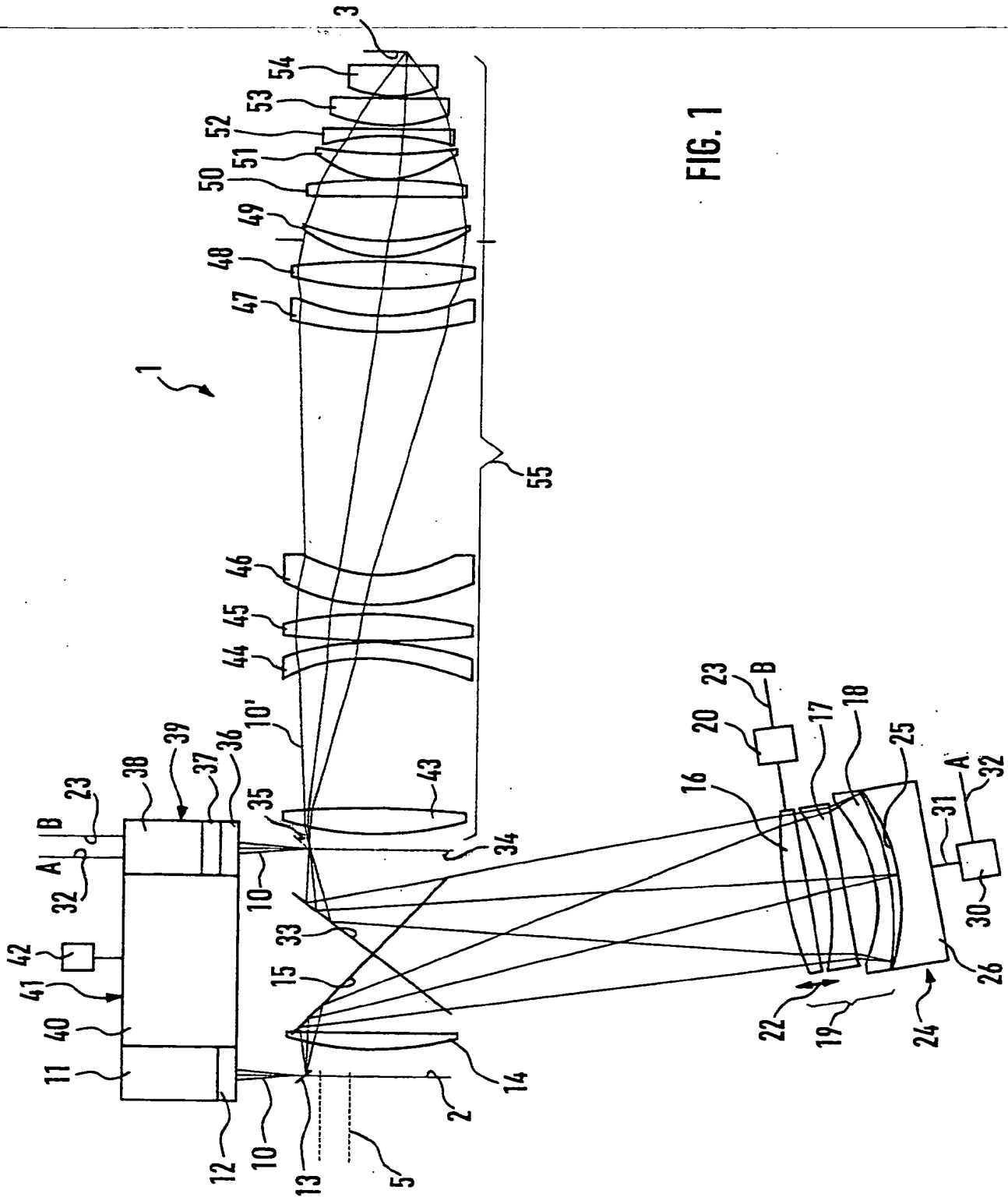


FIG. 1

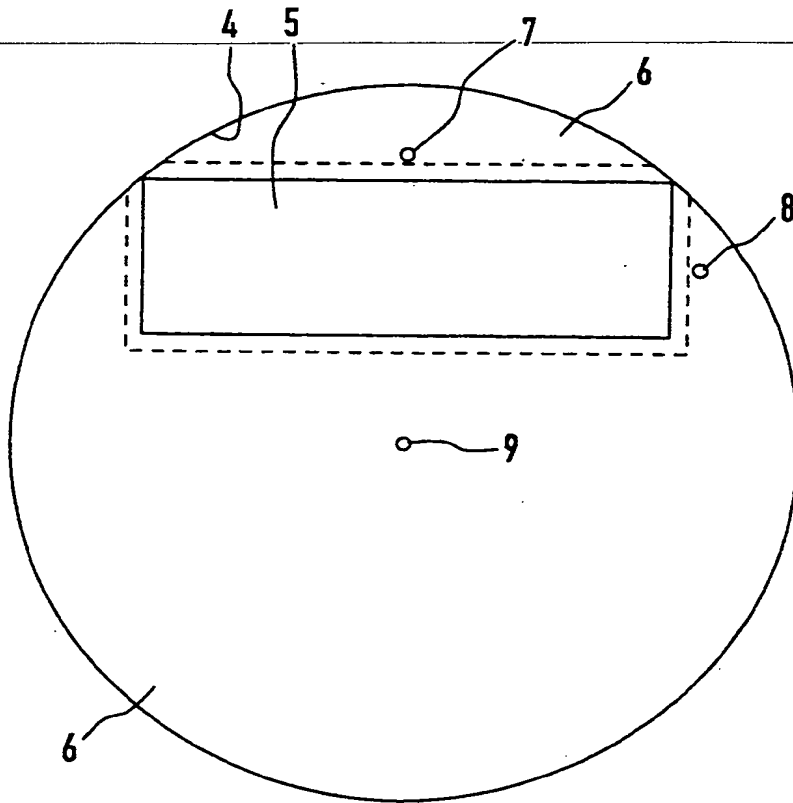


FIG. 2

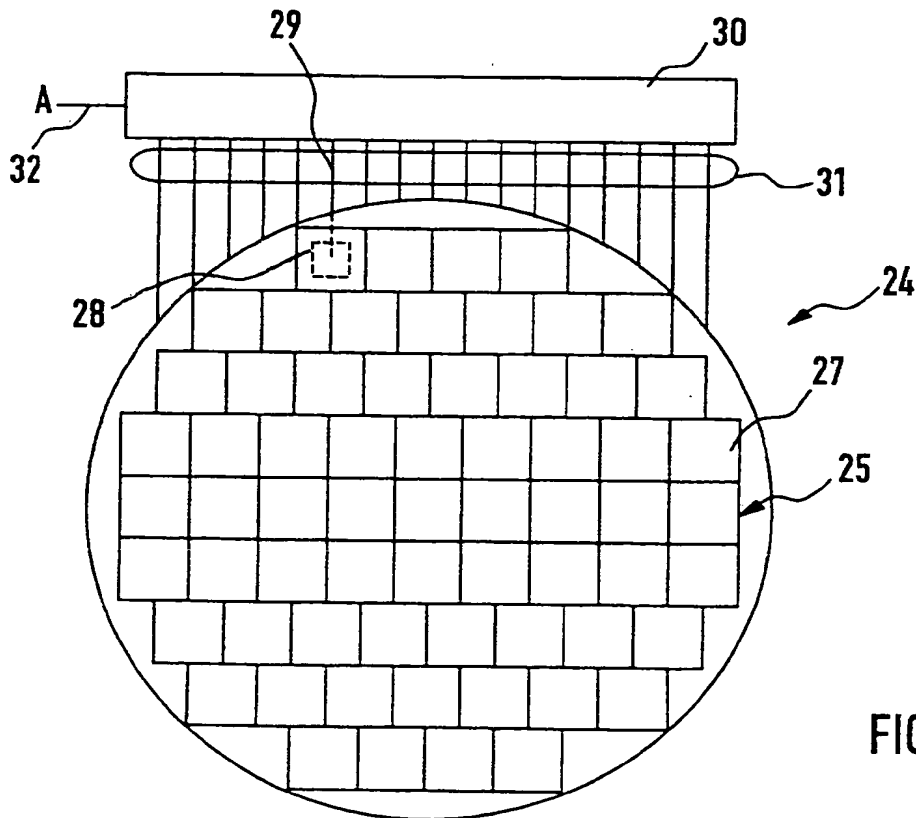
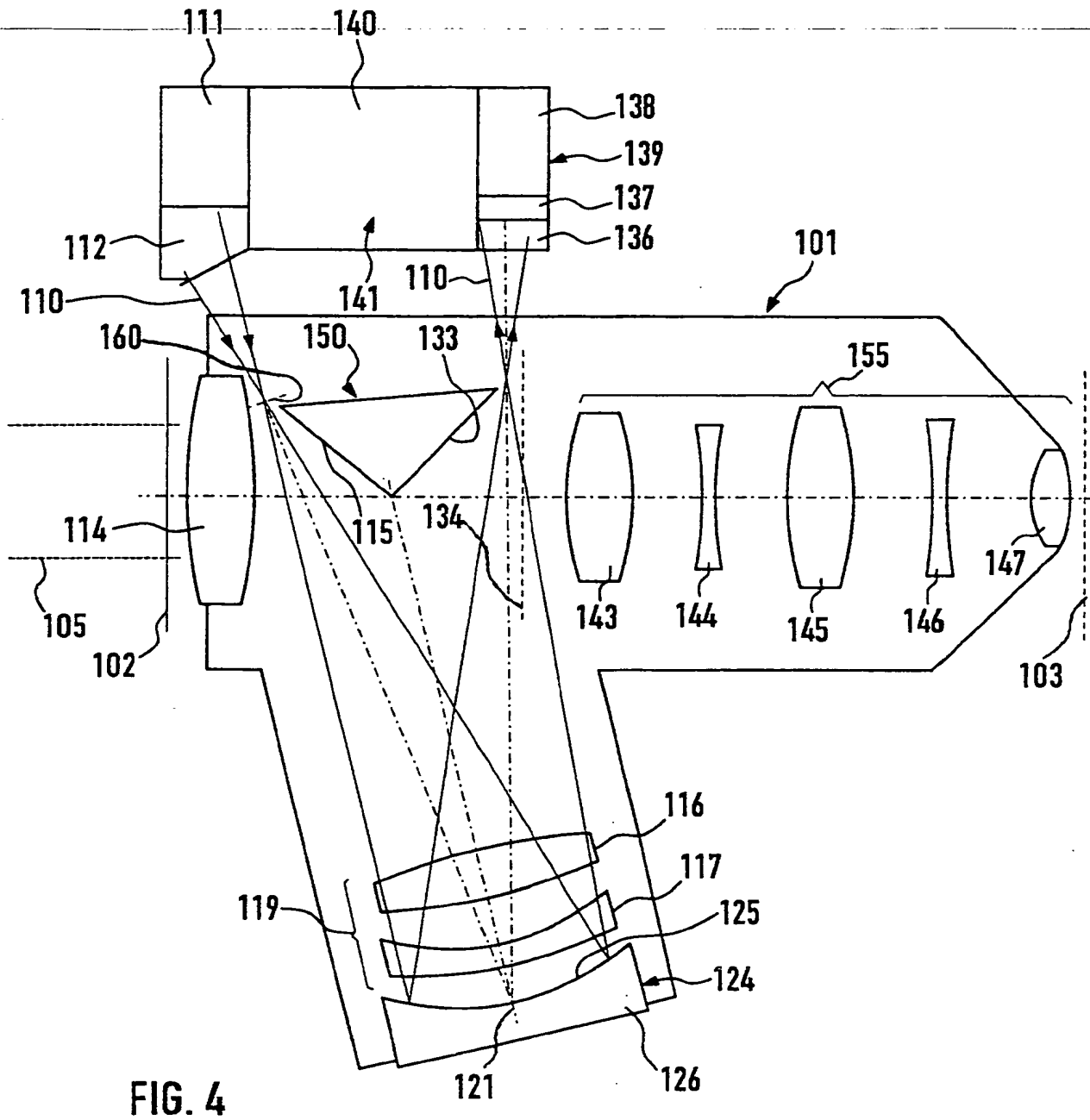


FIG. 3



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)